

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE
COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS EN LA
EMPRESA FRENO SINÚ S.A.S. EN LA CIUDAD DE MONTERÍA**



ANDRÉS JOSÉ ALMANZA HERNÁNDEZ

JUAN MIGUEL CARRASCAL GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CÓRDOBA

2020

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE
COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS EN LA
EMPRESA FRENO SINÚ S.A.S. EN LA CIUDAD DE MONTERÍA**

ANDRÉS JOSÉ ALMANZA HERNÁNDEZ

JUAN MIGUEL CARRASCAL GUTIÉRREZ

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Mecánico**

Director del proyecto

ING. WILLIAM CESAR BELTRÁN GALINDO

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CÓRDOBA

2020

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores.

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

NOTA DE ACEPTACIÓN

WILLIAM CESAR BELTRÁN GALINDO

Director

JORGE MARIO MENDOZA FANDIÑO

Jurado

JUAN FERNANDO ARANGO MENESES

Jurado

DEDICATORIAS

Agradezco a Dios por otorgarme una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; ensañándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos dedico este proyecto, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar con su valioso e incondicional apoyo.

Andrés José Almanza Hernández

A mi madre adoptiva Ena Luz, por brindarme todo lo que estuvo a su alcance para que nunca me faltara nada y pudiera formarme como un hombre integral.

A mi abuela María Isabel, por ser esa persona afectuosa que siempre está preocupada por mi bienestar, que siempre es feliz en mis victorias y me da las fuerzas en mis derrotas.

Y finalmente a ese pequeño puñado de amigos que siempre han estado ahí en los momentos más felices y difíciles de mi vida.

Juan Miguel Carrascal Gutierrez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los docentes y compañeros del programa de ingeniería mecánica que de una manera u otra aportaron su grano de arena en nuestros años de formación para alcanzar este título de ingenieros mecánicos.

También agradecemos a todas esas personas del comercio y empresas de la ciudad que de forma paciente compartieron su conocimiento empírico y experiencias de forma desinteresada y humilde.

Finalmente, gracias a nuestros familiares, colegas y amigos por confiar en nosotros y animarnos a no abandonar nuestras metas en los momentos más difíciles.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
1. REVISIÓN DE LA LITERATURA	18
1.1. ANTECEDENTES	18
1.2. GENERALIDADES DEL AIRE COMPRIMIDO	19
1.2.1. Propiedades Físicas del Aire.	19
1.2.2. Aplicaciones del Aire Comprimido.....	19
1.2.3. Ventajas del Aire Comprimido	20
1.2.4. Presión de aire	21
1.2.5. Caudal.....	21
1.2.6. Potencia	21
1.2.7. Demanda de aire comprimido (Caudal requerido)	22
1.3. COMPRESORES Y TIPOS.....	23
1.3.1. Clasificación del compresor	23
1.3.2. Compresores de desplazamiento positivo	23
1.3.3. Compresores dinámicos	24
1.3.4. Compresor de émbolo o pistón.....	25
1.3.5. Compresor de émbolo de dos etapas	25
1.4. Tipos de red para instalaciones de aire comprimido.....	26
1.4.1. Red abierta.....	26
1.4.2. Red cerrada o interconectada	27
1.4.3. Inclinação de la red de distribución	28
1.4.4. Cálculo elemental de una red de distribución.	28
1.4.5. Elección del material de los tubos.....	29

1.4.6. Tubos de acero galvanizado	30
1.5. UNIDAD DE MANTENIMIENTO	31
1.5.1. Filtro	33
1.5.2. Regulador de presión.....	34
1.5.3. Lubricador	34
1.6. LLAVES DE IMPACTO.....	35
1.6.1. Funcionamiento de las llaves de impacto.....	36
1.6.2. Llaves de impacto neumáticas.....	37
2. MATERIALES Y METODOS.....	38
2.1. Selección de parámetros	38
2.2. Diseño de la red de aire comprimido.	39
2.3. Selección de elementos y accesorios	40
2.4 Selección del compresor	41
2.4.1. Coeficiente de uso (C_U).....	41
2.4.2. Coeficiente de simultaneidad (C_S).	42
2.4.3. Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA}).	43
2.4.4. Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF}).....	43
2.4.5. Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (C_{CC}).	44
El caudal específico que viene dado por la sumatoria de caudales requeridos por cada una de las herramientas.	44
2.5. Presión de trabajo del compresor	44
2.6. Instalación del compresor	45
2.7. Selección del acumulador de aire comprimido.....	45
2.8. Selección de la unidad de mantenimiento.....	47
2.9. Selección de tuberías para la red neumática	48
2.10. Desarrollo de la red neumática.	49
2.10. Montaje de la red neumática.	52
2.11. Puesta en marcha de la red neumática.	52
2.12. Prueba de presión.....	53
2.13. Prueba de hermeticidad.....	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.1. Selección de tuberías para la red neumática	55
3.2. Selección del compresor y acumulador	56

3.3. Selección de la unidad de mantenimiento.....	59
3.4. Evaluación de eficiencia de la red	61
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
4.1. CONCLUSIONES	64
4.2. RECOMENDACIONES.....	65
5. BIBLIOGRAFIA	67
ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Compresor de émbolo o pistón.	25
Figura 2. Compresor de émbolo de dos etapas	26
Figura 3. Compresor de émbolo de dos etapas	26
Figura 4. Red de distribución abierta.....	27
Figura 5. Red de distribución abierta.....	27
Figura 6. Red de distribución cerrada.....	27
Figura 7. Red de distribución cerrada.....	28
Figura 8. Unidad de mantenimiento.	32
Figura 9. Filtro.....	33
Figura 10. Regulador de presión.....	34
Figura 11. Lubricador	35
Figura 12. Llaves de impacto neumáticas	37
Figura 13. Diagrama de procesos para la obtención del caudal de trabajo del compresor... 41	
Figura 14. Ábaco para el cálculo de la capacidad del acumulador en m3 de aire libre (VB).	46
Figura 15. Tratamiento de aire comprimido según norma iso 8573 – 1	47
Figura 16. Simulación de flujo en accesorios.....	50
Figura 17. Plano de propuesta inicial.	51
Figura 18. Plano preliminar escogido por la gerencia	52
Figura 19. Manómetro	53
Figura 20. Vista isométrica de la red de aire comprimido.....	55
Figura 21. Vista en planta de la red de aire comprimido.....	56

Figura 22. Motor eléctrico LEESON ELECTRIC 7.5 Hp.....	57
Figura 23. Ficha técnica del acumulador de aire	58
Figura 24. Compresor	58
Figura 25. Unidad de mantenimiento	60
Figura 26. Unidad de mantenimiento	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resistencias al caudal ocasionadas por diversos tipos de accesorios de redes de aire comprimido, convertidas en longitudes de tubos (datos en metros).....	31
Tabla 2. Parámetros de diseño.....	39
Tabla 3. Coeficiente de uso CU.....	42
Tabla 4. Coeficiente de simultaneidad CS.....	43
Tabla 5. Comparación de las características de los tubos neumáticos de metal y sintéticos.	48
Tabla 6. Ventajas y desventajas entre los diferentes tubos.....	49
Tabla 7. Comparativa de tiempos empleados usando herramienta neumática (pistola de impacto) vs. herramienta mecánica (cruceta).	61
Tabla 8. Eficiencia de la herramienta neumática (pistola de impacto) respecto a la herramienta mecánica (cruceta).....	62
Tabla 9. Tabla resumen	63

RESUMEN

El proyecto que se propuso y ejecutamos tuvo como fin, proveer a la empresa Freno Sinú S.A.S. de una red de distribución de aire comprimido para el uso de herramientas neumáticas.

Inicialmente se establecieron los parámetros que definirían el diseño del sistema, que fueron: la presión de trabajo de las herramientas neumáticas que usarían los operarios, el espacio disponible para el montaje de la red y se tuvo en cuenta los requerimientos del gerente de la empresa en cuanto a costos y disponibilidad de material para el proyecto en el comercio.

Luego, basados en las condiciones dadas, en los cálculos y graficas necesarios para respaldar el diseño de la red neumática y teniendo en cuenta la viabilidad del proyecto, seleccionamos los elementos que constituirían el sistema. También se generaron planos de ensamble que ayudarían en el montaje y futuros mantenimientos de la red.

En el ensamble y montaje de la red, se usaron los planos mencionados y herramientas que facilitaron el armado de la tubería que la conforma.

Finalmente, la red se conectó al compresor, se hicieron pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de esta y se evaluó su eficiencia frente a las herramientas convencionales usadas por los operarios y técnicos de la empresa.

Palabras claves: parámetros, neumática, viabilidad, eficiencia.

ABSTRACT

The project that was proposed and executed was aimed at providing the company Freno Sinú S.A.S. of a compressed air distribution system for the use of pneumatic tools.

Initially the parameters that would define the design of the system were established, which were: the working pressure of the pneumatic tools that the operators would use, the space available for the assembly of the network and the requirements of the company manager were taken into account in terms of costs and availability of material for the project in commerce.

Then, based on the conditions given, on the calculations and graphs necessary to support the design of the pneumatic system and taking into account the viability of the project, we select the elements that would constitute the system. Assembly plans were also generated that would help in the assembly and future maintenance of the network.

In the assembly and assembly of the system, the aforementioned drawings and tools were used that facilitated the assembly of the pipe that forms it.

Finally, the system was connected to the compressor, necessary tests were made to guarantee its correct functioning and its efficiency was evaluated against the conventional tools used by the company's operators and technicians.

Keywords: parameters, pneumatics, viability, efficiency.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de las ciencias exactas para dar solución a los problemas de la humanidad es lo que conoce como ingeniería. Esta es una herramienta imprescindible para el desarrollo y progreso de la sociedad.

Desde la academia hasta la industria se reconoce la importancia de la Ingeniería Mecánica para ayudar a las empresas con proyectos técnicos de todo tipo, en la ejecución de forma eficiente y viable de ideas y a permitir el correcto funcionamiento de mecanismos, máquinas y sistemas en las actividades para los que fueron creados.

La implementación y aplicación de tecnologías que permitan a empresas del comercio regular prestar un mejor servicio a sus clientes, debe ser una prioridad, ya que es muy probable que estas actividades, generen de forma directa un aumento en los ingresos de la empresa.

Las tecnologías neumáticas y herramientas neumática, son cada vez más comunes en los talleres y lugares donde se realiza mantenimiento a vehículos automotrices. Estas son una forma de facilitar el trabajo de los técnicos y de disminuir los tiempos improductivos en operaciones de mantenimiento. Esto resulto ser atractivo a la empresa Freno Sinú S.A.S y nos permitió plantear la idea de diseñar y construir una red de distribución de aire comprimido para el uso de herramientas neumáticas en dicha empresa, para así aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo del programa y solucionar la necesidad de la empresa mencionada.

La red que diseñamos y construimos cumplió con los requerimientos propuestos por la gerencia de la empresa en cuestión, es una red funcional y viable económicamente hablando.

Permite operar dos pistolas de impacto de forma simultánea sin caídas de presión significativas y redujo el tiempo de desmontaje de ruedas de vehículos, de forma significativa respecto a las herramientas mecánicas manuales que se usaban tradicionalmente en esta empresa.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar y construir una red de distribución de aire comprimido para el uso de herramientas neumáticas en la empresa Freno Sinú S.A.S. en la ciudad de Montería.

Objetivos específicos

- ✓ Establecer los parámetros necesarios para el diseño y construcción de una red de aire comprimido para la empresa Freno Sinú S.A.S.
- ✓ Diseñar una red de distribución de aire comprimido para la empresa Freno Sinú S.A.S.
- ✓ Seleccionar los elementos y accesorios necesarios para la construcción y montaje de la red de distribución de aire comprimido.
- ✓ Realizar el montaje de la red de distribución de aire comprimido.
- ✓ Poner en marcha la red de distribución de aire comprimido.

1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1. ANTECEDENTES

La energía es un elemento importante que interviene en todas las industrias y los servicios, y encontrar la más idónea para cada aplicación es un aspecto importante en el ahorro. De entre todas las energías directamente aplicables, el aire comprimido juega un papel imprescindible, pues resulta difícil encontrar un proceso productivo o de servicio donde no se utilice. Ello es debido a sus grandes y múltiples cualidades, ya que dispone de una fuente inagotable; es transportable incluso a grandes distancias; puede almacenarse en depósitos fijos o móviles; la temperatura no le afecta y es antideflagrante; es una energía limpia que no contamina y no requiere de tuberías de retorno. (Duliep, 2001)

Nacional e internacionalmente, se han realizado trabajos e instalaciones de redes neumáticas para el uso de diversas herramientas neumáticas, entre ellos tenemos:

- ✓ Albornoz Vidal Cristián Arturo & Bustos Verdugo Rodrigo Alejandro (2007) Realizaron el diseño de una red de aire comprimido para el nuevo edificio del instituto profesional Virginio Gómez (Albornoz & Bustos, 2007)
- ✓ Pincay Galarza Danny Ricardo (2019) Realizo el diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG (Pincay, 2019)
- ✓ Soto Vásquez Ana Andrea (2005) Realizo una propuesta de rediseño de la red de aire comprimido de Industrias CERESITA S.A. (Soto, 2005)
- ✓ Ubidia Vásquez Pamela Verónica (2013) Realizo el diseño y construcción del sistema de aire comprimido de la Planta Industrial de Chova Del Ecuador S.A. (Ubida, 2013)

1.2. GENERALIDADES DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es usado ampliamente en todo tipo de empresas manufactureras y productivas debido a su gran versatilidad, y cada vez más amplia su gama de aplicaciones. El uso de este recurso como fuente de energía se remonta desde varios siglos antes de Cristo (ARISTIZABAL, 1988).

Este fluido cuenta con algunas propiedades físicas que vale la pena resaltar brevemente.

1.2.1. Propiedades Físicas del Aire.

Aunque es incoloro, insípido e inodoro, el aire tiene masa, y de esta característica se desprenden las propiedades que se describen a continuación:

- **Compresibilidad**

Propiedad física que permite que, mediante la aplicación de una fuerza externa, se reduzca el volumen que ocupa el aire en un recipiente.

- **Elasticidad**

Propiedad física que permite al aire retomar el volumen inicial que ocupaba en un recipiente al retirarse la fuerza exterior que determinaba su reducción de volumen.

- **Difusibilidad**

Propiedad física que permite al aire mezclarse homogéneamente con cualquier medio gaseoso que no esté saturado (ARISTIZABAL, 1988)

1.2.2. Aplicaciones del Aire Comprimido

Dentro de las aplicaciones que se le suelen dar al aire comprimido se encuentran:

- ✓ El empleo directo como elemento de trabajo.
- ✓ Como fuente de energía para motores, embragues, cilindros y herramientas.

- ✓ Mediante regulación de válvulas y accesorios, se emplea para impulsar gran variedad de movimientos mecánicos, como dispositivos de sujeción, dispositivos de localización, sistemas de transporte de material, maquinado, prensado, estampado entre otros.

En conjunto con sistemas oleo-hidráulicos, se puede obtener costos reducidos en los ciclos de trabajo precisos y a base de grandes presiones mediante elementos electrónicos, para accionamientos a larga distancia (CHADID, 1983).

1.2.3. Ventajas del Aire Comprimido

El empleo de este fluido como fuente de energía en las industrias presenta algunas ventajas claras:

- ✓ Se puede centralizar la alimentación de todas las aplicaciones neumáticas (compresor central), lo cual no es posible con aplicaciones oleo-hidráulicas.
- ✓ Mediante el uso de acumuladores (tanque pulmón) se puede almacenar el fluido, logrando así que la capacidad del compresor no tenga que ser necesariamente igual o superior al máximo del consumo de aire en un momento determinado, sino que puede ser igual al promedio de consumo.
- ✓ En comparación con los sistemas hidráulicos, las redes de transporte son más simples.
- ✓ El transporte del aire comprimido es seguro, lo que lo hace ideal para aplicaciones en ambientes con riesgo de explosión o incendio, aunque se debe tener precaución, pues una falla abrupta en estas redes puede ocasionar fugas de alta presión. Aunque los gastos por fugas son importantes en las redes neumáticas, estas no evitan que los equipos continúen trabajando, a diferencia de los sistemas hidráulicos (VAN DIJON, 1982).

1.2.4. Presión de aire

Presión máxima del régimen.

Ésta corresponde a la presión máxima que se tiene establecida para los compresores. Cada unidad consumidora tendrá cierta presión de trabajo (dada por el fabricante). De todas ellas, habrá algunas cuya presión máxima de trabajo será superior a las otras, por lo cual el compresor deberá ser capaz de entregar poco más de esta presión máxima (presión máxima del régimen). Esta presión es comúnmente medida en pulgadas cuadradas o PSI, donde también se utiliza la medida en Bares (BAR).

1 BAR = 14.5 PSI (Mundo Compresor, 2018)

1.2.5. Caudal

El caudal depende de los siguientes factores:

- Cantidad de unidades consumidoras y consumo de aire de cada una.
- Factor de simultaneidad (ya que no siempre todas las unidades consumidoras funcionan al mismo tiempo).
- Pérdidas por desgaste de las unidades consumidoras y por fugas en la red.
- Duración de la conexión de las unidades consumidoras.
- Posibles ampliaciones futuras. (Mundo Compresor, 2018)

1.2.6. Potencia

Es la capacidad de trabajo que tiene el compresor y se mide en HP (Caballos de fuerza).

También se utiliza CV (caballos de vapor) y KW (Kilovatios).

1 HP = 0.74 KW

1HP = 1.0138 CV

$$1\text{CV} = 0.73 \text{ KW}$$

Al final, todo esto nos sirve para entender que al elegir un compresor de aire se debe tener en cuenta que los CFM dependen de los PSI del compresor. Por otro lado, entre mayor es la potencia o el caballaje del compresor, más aire puede suministrar el equipo (CFM). Generalmente hay un estándar, es decir, la mayoría de las herramientas trabajan a 90 PSI, algunas a 100 PSI y otras a 120 PSI.

Para elegir un compresor de aire y saber qué compresor de aire es mejor hay que leer o tener unos datos muy simples, sumarlos y listo, comparar con una tabla para saber qué tipo de equipo se necesita.

En cuanto a las leyes sobre aire comprimido, existen algunos Coeficientes de Corrección de Consumo. Estos pueden ser el:

- ✓ Coeficiente de Uso
- ✓ Coeficiente de Simultaneidad
- ✓ Coeficiente de Mayoración
- ✓ Coeficiente de Ciclo de Funcionamiento.

Esto se utiliza para cuando el compresor tiene un uso industrial y son muchas herramientas de diferentes potencias conectadas, además que no todas estarán conectadas al tiempo. Para evitar esto y hacerlo simple, al escoger un compresor simplemente se aumenta un consumo del 30% más, al cálculo general que se haga. (Mundo Compresor, 2018)

1.2.7. Demanda de aire comprimido (Caudal requerido)

Para determinar la demanda requerida de aire comprimido de cada equipo se revisan los catálogos y/o manuales de cada uno de ellos, además se considera un margen de seguridad

para fugas y para las instalaciones de incremento de nuevos equipos a futuro, por lo que la sumatoria total se considera como la demanda pico y sus unidades son en pie^3/min (CFM).

El consumo total de aire comprimido es aquel que resulta de sumar el consumo de todos los equipos neumáticos conectados en la planta, trabajando a pleno rendimiento. Este es un dato básico que permitirá la elección del tipo y dimensión del compresor.

A este valor hay que sumarle el obtenido por la estimación de las posibles fugas que en un futuro se originen en la instalación. Como nota extraída de la experiencia, decir que instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%.

Si además, las condiciones de mantenimiento no son del todo correctas, éstas pueden llegar a alcanzar valores del 25%. (Mundo Compresor, 2018)

1.3. COMPRESORES Y TIPOS

Máquinas diseñadas para comprimir gases a cualquier presión, por encima de la presión atmosférica. En general, un compresor trabaja con presiones superiores a los 4 bares.

1.3.1. Clasificación del compresor

Algunos especialistas coinciden en dos grandes grupos de compresores y estos a su vez se subdividen en otros compresores. (Mundo Compresor, 2018)

1.3.2. Compresores de desplazamiento positivo

El principio de funcionamiento de estos compresores se basa en la disminución del volumen del aire en la cámara de compresión donde se encuentra confinado, produciéndose el incremento de la presión interna hasta llegar al valor de diseño previsto, momento en el cual el aire es liberado al sistema.

- ✓ Compresor de Pistón.

- ✓ Compresor de Tornillo.
- ✓ Compresor de Paletas.
- ✓ Compresor de Lóbulos O Émbolos Rotativos.
- ✓ Compresores Scroll.
- ✓ Bombas de Vacío. (Mundo Compresor, 2018)

1.3.3. Compresores dinámicos

El principio de funcionamiento de estos compresores se basa en la aceleración molecular. El aire es aspirado por el rodete a través de su campana de entrada y acelerado a gran velocidad. Después es descargado directamente a unos difusores situados junto al rodete, donde toda la energía cinética del aire se transforma en presión estática. A partir de este punto es liberado al sistema.

Ambos sistemas pueden trabajar con una o varias etapas, en función de la presión final requerida para el aire comprimido. En el caso de compresores multi-etápicas, el aire, al ser liberado de la primera etapa, pasa directamente a la segunda, donde el proceso descrito anteriormente se repite. Entre cada etapa, se instala un refrigerador intermedio que reduce la temperatura de compresión hasta el valor requerido por la etapa siguiente. (Mundo Compresor, 2018)

Cada grupo de compresores usa diferentes diseños para el proceso de compresión. A continuación, se describe los principales de cada uno de ellos.

- ✓ Compresores Centrífugos Radiales.
- ✓ Compresores Centrífugos Axiales. (Mundo Compresor, 2018)

1.3.4. Compresor de émbolo o pistón

En este compresor el aire es aspirado al interior de un cilindro, por la acción de un pistón accionado por una biela y un cigüeñal es decir la biela-manivela que gira y arrastra el émbolo hacia abajo, mientras la válvula de admisión deja entrar el aire, hasta llenarse y la válvula de admisión se cierra y el émbolo que comprime el aire asciende, finalmente se abre la válvula de escape y provoca la circulación del aire comprimido al sistema. En la figura 1 se aprecia un compresor de émbolo. (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

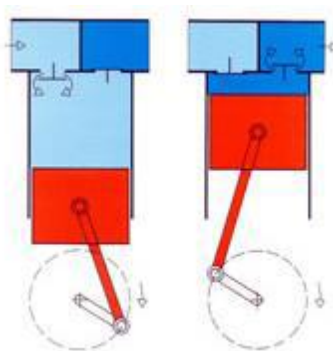


Figura 1. Compresor de émbolo o pistón. Extraído de (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

1.3.5. Compresor de émbolo de dos etapas

Si con una sola etapa de compresión no se alcanza la presión necesaria, se debe recurrir a una segunda etapa. Pues, al aumentar la presión provoca una elevación de la temperatura, por lo que debe intercalarse entre las dos etapas de compresión un cambiador de calor que reduzca la temperatura del aire para que ésta no sea peligrosa para los equipos. (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006).

En la figura 2 se muestra el compresor de émbolo o pistón de dos etapas; en ella se puede ver cómo el cilindro de la derecha en un movimiento descendente, está aspirando el aire del

exterior, mientras que el cilindro de la izquierda, con un movimiento ascendente, lo está comprimiendo.

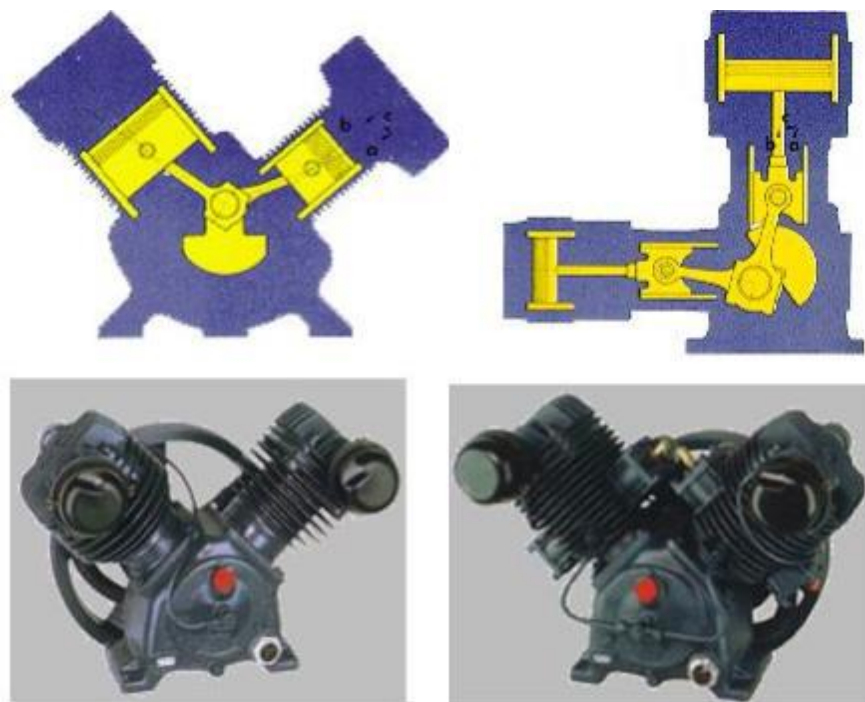


Figura 2. Compresor de émbolo de dos etapas

Extraído de (Mundo Compresor, 2018)

1.4. Tipos de red para instalaciones de aire comprimido

Pueden ser de dos tipos los diseños de red, para instalaciones de aire comprimido.

1.4.1. Red abierta

Formada por tuberías que parten de la central compresora y se ramifican hasta llegar a los puntos de consumo final. Es la red más económica, puesto que supone menor longitud de tuberías. (Automatización Industrial, 2011)

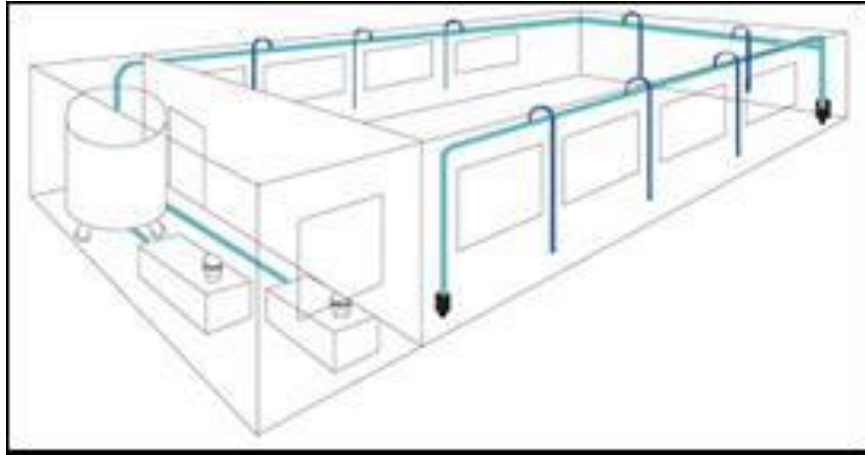


Figura 3. Red de distribución abierta.

Extraído de (Automatización Industrial, 2011)

1.4.2. Red cerrada o interconectada

La tubería parte de la central compresora y tras pasar por la instalación se cierra en su extremo, formando un anillo. En esta distribución se consigue un reparto de caudales óptimo y continuidad de servicio ante averías, gracias a las válvulas de sector. Además, minimizan las pérdidas de carga en la instalación.

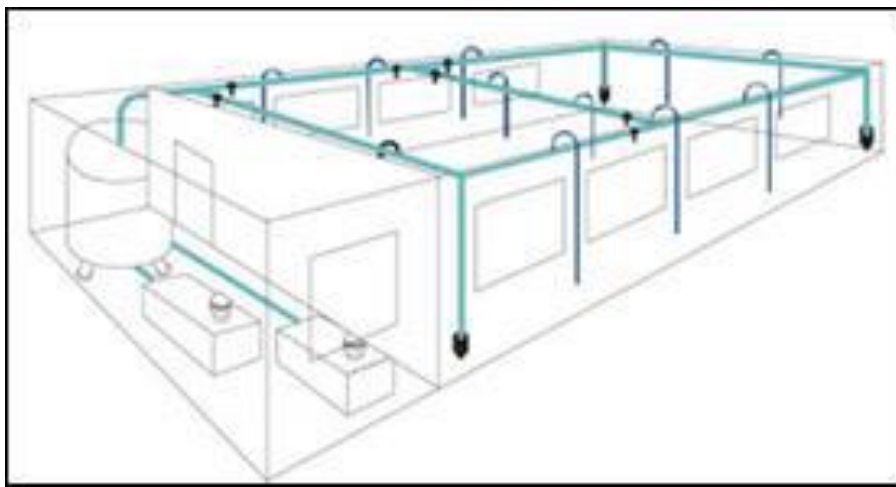


Figura 4. Red de distribución cerrada

Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de los accesorios de una red (por ejemplo, filtros) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

Cabe anotar que otro defecto de la red cerrada es la dificultad de eliminar los condensados debido a la ausencia de inclinaciones. Esto hace necesario implementar un sistema de secado más estricto en el sistema. Al contrario de lo pensado, la pérdida de carga en esta construcción es menor que en la anterior, esto debido a que una unidad consumidora estaría abastecida desde cualquiera de las dos direcciones posibles. Por tanto, la principal razón para implementar redes cerradas es por su buen mantenimiento. (Automatización Industrial, 2011)

1.4.3. Inclinación de la red de distribución

En las redes abiertas se debe permitir una leve inclinación de la red en el sentido de flujo del aire. Esto con el fin facilitar la extracción de los condensados. Dicha inclinación puede ser de un 2%. Al final debe instalarse una válvula de purga. (Automatización Industrial, 2011)

1.4.4. Cálculo elemental de una red de distribución.

Al diseñar una red de aire comprimido, es muy importante tener en cuenta las dimensiones de las tuberías. Por ello, es recomendable proceder de la siguiente manera:

- Definir el lugar en el que se montarán las unidades consumidoras.

- Definir la cantidad de unidades consumidoras, distinguiéndolas según su tipo y la calidad de aire que necesitan.
- Preparar una lista que incluye el consumo de aire de cada una de las unidades consumidoras.
- Determinar el consumo total, considerando la duración de la conexión, la simultaneidad de funcionamiento y las reservas necesarias para una posible posterior ampliación de la red.
- Confección del plano de las tuberías, incluyendo su longitud, los accesorios (derivaciones, codos, reductores) y los racores necesarios.
- Calcular la resistencia que se opone al caudal, convirtiendo la resistencia de los componentes en el equivalente de la resistencia en las tuberías en función de su longitud.
- Determinación de la pérdida de presión admisible.
- Determinar la longitud nominal de los tubos, a continuación, determinar su diámetro interior.

1.4.5. Elección del material de los tubos.

El cálculo de una red de distribución de aire comprimido consiste solamente en la determinación del diámetro único que tendrá dicha tubería, en función de ciertos datos de partida que son:

- a) La presión máxima de régimen.
- b) El caudal máximo a utilizar.
- c) La pérdida de carga que se está dispuesta a tolerar en la instalación.

d) La forma y dimensión de la red.

1.4.6. Tubos de acero galvanizado

La tubería de acero galvanizado es una tubería de acero (estirado o con soldadura), como en el caso anterior, pero a la que se ha sometido a un proceso de galvanizado interior y exteriormente. El galvanizado se aplica después de formado el tubo. Al igual que la de acero al carbón, se dobla la placa a los diámetros que se requiera. Existen con costura y sin costura y se utiliza para transportar agua potable, gases o aceites.

1.4.7. Pérdidas de carga.

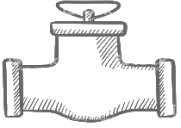
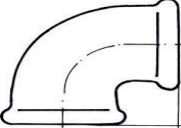
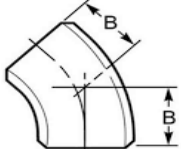
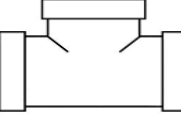
Por último, se considerará la pérdida de carga (que se traducirá como una disminución de la presión).

La pérdida de carga o disminución de la energía útil se produce cuando el aire al circular “roza” con las paredes del tubo o cuando produce torbellinos en lugares donde la dirección cambia en forma brusca. Estos torbellinos consumen energía, pero su trabajo no es aprovechable.

La pérdida total de carga es un valor que se elige como condición de diseño y que usualmente está entre 0.1bar y 0.2bar.

Se sobreentiende que las válvulas, accesorios, codos y similares ofrecen una resistencia mucho mayor al caudal. Para tener en cuenta estos componentes, se calcula con una longitud equivalente (ficticia) de la tubería y el resultado se suma a la longitud real de los tubos antes de calcular o determinar gráficamente el diámetro interior necesario de los tubos. En la tabla 1 se incluyen estas longitudes ficticias. (Sartenejas, 2005)

Tabla 1. Resistencias al caudal ocasionadas por diversos tipos de accesorios de redes de aire comprimido, convertidas en longitudes de tubos (datos en metros). Extraído de (Sartanejas, 2005)

DENOMINACIÓN	ACCESORIO	Longitudes equivalentes en metros								
		Diámetro interior d del tubo en mm								
		9	12	14	18	23	40	50	80	100
VALVULA		0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	1.0	1.3
CODO 90°		0.6	0.7	1.0	1.3	1.5	2.5	3.5	4.5	6.5
CODO 45°		0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5
TEE		0.7	0.85	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	7.0	10

1.5. UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Los compresores aspiran aire húmedo y sus filtros de aspiración no pueden modificar esto, ni eliminar totalmente las partículas contenidas en el aire atmosférico del lugar donde esté situado el propio compresor.

La durabilidad y seguridad de funcionamiento de una Instalación neumática dependen en buena forma del acondicionamiento del aire:

- La suciedad del aire comprimido (óxidos, polvo, demás), las partículas líquidas contenidas en el aire, causan un gran deterioro en las instalaciones neumáticas y en todos sus componentes, provocando desgastes exagerados y prematuros en

superficies deslizantes, ejes, vástagos, juntas, etc., reduciendo la duración de los distintos elementos de la instalación.

- Las conexiones y desconexiones del compresor o compresores, generan oscilaciones en la presión, que impiden un funcionamiento estable de la instalación, de los actuadores, etc.

Para evitar este tipo de problemas, se recomienda emplear las UNIDADES DE MANTENIMIENTO NEUMÁTICO las cuales son una combinación de los elementos que se describen a continuación:

- Filtro de aire comprimido
- Regulador de presión
- Lubricador de aire comprimido

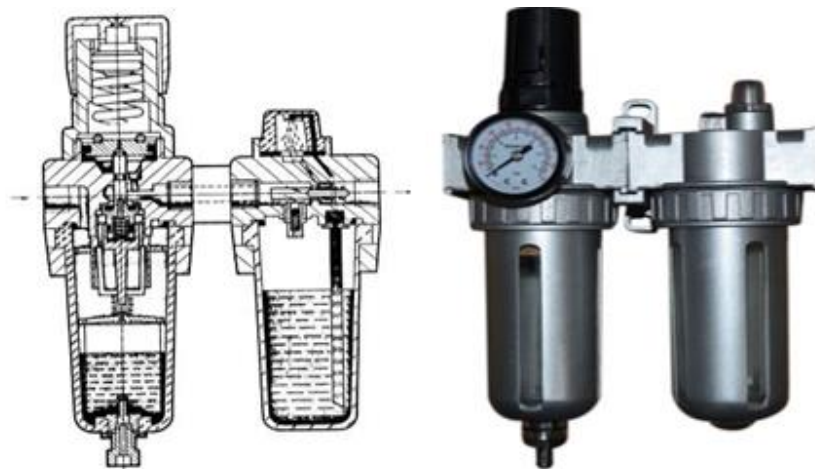


Figura 5. Unidad de mantenimiento.

Extraído de (Catálogo Pneumatic, 2017)

Es necesario efectuar, en intervalos regulares, los trabajos siguientes de conservación:

1.5.1. Filtro

Para evitar daños en el compresor, los contaminantes presentes en el aire deben filtrarse. Esto se hace mediante el uso de filtros de entrada. Estos pueden ser filtros secos o húmedos. Los filtros secos utilizan cartuchos desechables. En el filtro húmedo, el aire entrante pasa a través de un baño de aceite y luego a través de un filtro de malla de alambre fino. (Jiménez, 2012).

Las partículas de suciedad se adhieren a las gotas de aceite durante el burbujeo y se eliminan con una malla de alambre a medida que pasan a través de ella.

Los filtros deben examinarse periódicamente el nivel de agua condensada, porque no debe sobrepasar la altura indicada en la mirilla de control. De lo contrario, el agua podría ser arrastrada hasta la tubería por el aire comprimido. Para purgar el agua condensada hay que abrir el tornillo existente en la mirilla. Asimismo, debe limpiarse el cartucho filtrante. En el filtro seco los cartuchos son reemplazados durante el servicio. Los filtros húmedos se limpian utilizando una solución detergente.

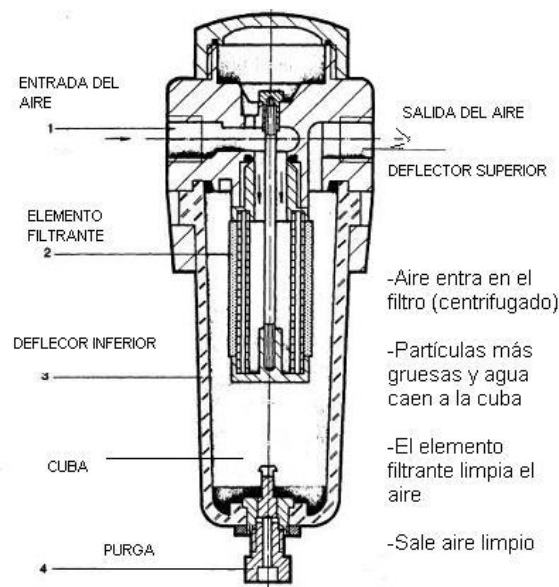


Figura 6. Filtro. Extraído de (Catálogo Pneumatic, 2017)

1.5.2. Regulador de presión

Los reguladores de presión tienen la función de mantener constante el nivel de la presión secundaria (que lleva hacia las unidades consumidoras), independientemente de las oscilaciones que se producen en el circuito principal (presión primaria). Si la presión de funcionamiento es demasiado alta, aumenta el desgaste y el consumo de energía es menos eficiente. Si la presión de funcionamiento es demasiado baja, el rendimiento disminuye y, con frecuencia, las unidades consumidoras no funcionan correctamente.

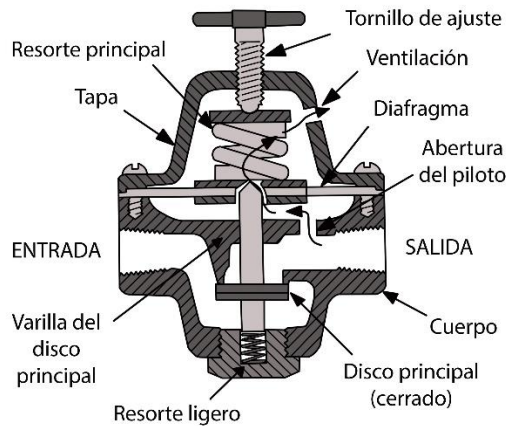


Figura 7. Regulador de presión

Extraído de (Catálogo Pneumatic, 2017)

1.5.3. Lubricador

El aire comprimido primero se filtra y luego se pasa a través de un lubricador para formar una niebla de aceite y aire para proporcionar lubricación a los componentes de acoplamiento. Se recomienda verificar el nivel de aceite en la mirilla y, si es necesario, suplirlo hasta el nivel permitido. Los filtros de plástico y los recipientes de los lubricadores no deben limpiarse con tricloroetileno. Para los lubricadores, utilizar únicamente aceites minerales.

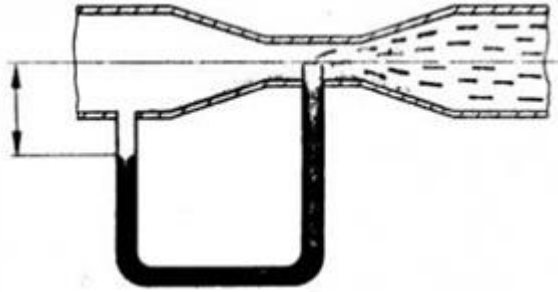


Figura 8. Lubricador

Extraído de (Catálogo Pneumatic, 2017)

La unidad de mantenimiento debe elegirse cuidadosamente según el consumo de la instalación. Si no se pospone un depósito, hay que considerar el consumo máximo por unidad de tiempo.

1.6. LLAVES DE IMPACTO

Muchos asocian las llaves de impacto con la reparación de automóviles y neumáticos. Si bien es cierto que los mecánicos y gomeros aumentan la productividad de su taller aprovechando los beneficios de estas herramientas para extraer fácilmente pernos que de otro modo serían muy complicados de maniobrar, las llaves de impacto también encuentran amplia aplicación en otros ámbitos. Los ejemplos son las industrias manufacturera, siderúrgica, minera, petrolera, aeronáutica, agrícola, de la construcción y toda aquella situación donde se necesite una llave poderosa para extraer o colocar tuercas y pernos o bulones.

Las *llaves de impacto* o, dicho más apropiadamente, *pistolas de impacto*, tal como las conocemos actualmente (por ello en este documento usaremos ambos términos como sinónimos) se introdujeron en el mercado hace unos 75-80 años y como vemos en la figura 9, el aspecto que presentan no parece ser muy diferente al de un taladro, aunque más allá de

esto, ambas herramientas funcionan de manera muy distinta. (Herramientas neumáticas y accesorios, 2019)

1.6.1. Funcionamiento de las llaves de impacto

Mientras un taladro suministra energía de rotación constante a una velocidad relativamente alta, una *llave de impacto* está diseñada para proporcionar un *par de torsión* (o *torque*) elevado a baja velocidad.

Más aún, la llave de impacto ni siquiera suministra un par de torsión constante. Su desempeño podría entenderse como algo muy similar al hecho de colocar una llave en una tuerca o tornillo que queremos aflojar y golpear la llave con un martillo, haciéndola girar por tramos cortos y graduales.

Cuando la *llave de impacto* recibe energía, un “martillo” interno golpea contra un yunque, el cual está conectado a un mandril de encastre cuadrado o hexagonal en el extremo operativo de la herramienta. Esto imprime una rotación a la llave de tubo conectada al mandril y esa rotación es la que se usa para ajustar o aflojar la tuerca o perno deseados.

La gran ventaja que tienen las *llaves de impacto* sobre otras herramientas similares es esta acción de martillado, que logra dos efectos importantes de los que carece un taladro común. En primer lugar, ejerce más fuerza de la que se puede aplicar con una llave típica, o incluso con una barra de torsión. En segundo lugar, la acción de martillado tiende a aflojar el óxido y otros depósitos que mantienen una tuerca o perno adheridos a la superficie y dificultan considerablemente su extracción. (Herramientas neumáticas y accesorios, 2019)

1.6.2. Llaves de impacto neumáticas

Este es el tipo más tradicional y económico, aunque requiere de un compresor de aire para proporcionar el aire comprimido que actúa como fuerza motriz para impulsar la herramienta. Dado que el consumo de aire de una llave de impacto neumática es bastante alto, se necesita un compresor de la magnitud suficiente para suministrar el aire con eficacia.

Las llaves de impacto neumáticas vienen en distintos tamaños y potencias, desde los modelos que pueden manejarse con una sola mano hasta los que exigen la intervención de dos personas, por lo que cada uno se adapta a las necesidades del usuario. (Herramientas neumáticas y accesorios, 2019)



Figura 9. Llaves de impacto neumáticas

Fuente (Registro fotográfico)

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Selección de parámetros

Para establecer los parámetros que definieron el diseño de la red de distribución de aire comprimido, se recolectó información sobre cómo están construidas y cómo funcionan las redes de distribución de aire comprimido en el sector comercial y en el medio que se maneja la empresa.

Como punto de partida y haciendo caso a lo recomendado por las fuentes primarias, a la literatura referente al tema, a los manuales técnicos de las herramientas neumáticas que se usaron y a los requerimientos del propietario de la empresa, se estableció la presión de trabajo P_i y el caudal Q que debe ser entregados por la red de aire comprimido para el uso adecuado de las herramientas neumáticas.

Se midió el lugar donde se realizó el montaje de la red neumática y así se definieron las dimensiones de la misma y el espacio del cual se dispuso, esto con el fin de no interferir con redes de otro tipo, no ocupar espacios destinados a otros proyectos o actividades de la empresa y conocer la ubicación final del compresor que alimenta el sistema y demás elementos relevantes para la red.

Se investigaron las normas correspondientes al tema de tratamiento de aire comprimido, apoyados en estas se establecieron parámetros para la selección de los filtros y unidades de mantenimiento.

Tabla 2. Parámetros de diseño. Fuente (Elaboración propia)

Parámetro	Valor	Criterio de selección
Presión de operación de las herramientas neumáticas	6,3 bares	Ficha técnica de la herramienta
Caudal de operación de las herramientas neumáticas	4 CFM	Ficha técnica de la herramienta
Puntos de salida de la red	9	Requerimiento del propietario
Longitud total de la red	80 m	Geometría del lugar

2.2. Diseño de la red de aire comprimido.

Con los parámetros relevantes para el diseño y construcción de la red neumática ya establecidos (Presión optima de trabajo de las herramientas, caudal optima de trabajo de las herramientas y longitud entre el compresor y las salidas de aire) se realizaron los cálculos, gráficas y análisis necesarios para determinar los materiales, dimensiones y calibres de las tuberías de la red neumática. De igual manera es importante conocer la disposición adecuada de nuestra red ya sea de tipo cerrado (anillos), de tipo abierta (lineal), escama de pesados, etc.

A partir de ese punto se procedió a seleccionar los distintos accesorios que ayudaron en el armado, en la seguridad y montaje del sistema.

2.3. Selección de elementos y accesorios

Se calculo y selecciono el compresor óptimo para la tarea de suministrar la presión y el caudal de aire requerido por las herramientas conectadas a la red neumática. Para esta tarea se tuvo en cuenta las variables que podían generar pérdidas, caídas de presión o disminución en el caudal de aire entregado por la red neumática.

De igual manera se realizaron cálculos para seleccionar los distintos elementos que conforman la red neumática como fueron (tuberías, válvulas, unidades de mantenimiento, reguladores de presión, mangueras, accesorios).

Para arrancar el compresor se instaló con ayuda de un técnico eléctrico un interruptor de encendido y apagado, este a su vez cuenta con fusibles térmicos de seguridad para evitar daños o accidentes por sobrecarga. El elemento también gobierna el presostato electrónico que se encuentra en el acumulado del compresor, el cual regula la presión y los ciclos de carga y descarga.

Todas las decisiones referentes al diseño fueron tomadas pensando en la construcción de una red funcional e ideal para la tarea que fue pensada, pero que genere el menor gasto económico posible para la empresa Freno Sinú S.A.S. y que además permitiera agregar en el futuro más puntos donde se puedan conectar herramientas y así ampliar el sistema.

Finalmente, para dar paso a la última etapa del proyecto, se generaron los planos de ensamble necesarios para el montaje de la red.

Con la ayuda de los planos de ensamble, diagramas e ilustraciones del sistema, se creó un manual o documento guía para desarrollar las tareas de mantenimiento de la red y se incluyó el paso a paso para el montaje y desmontaje de la tubería que conformará el sistema.

2.4 Selección del compresor

Para la selección del compresor adecuado para la instalación, se debe tener en cuenta el consumo requerido por las herramientas. Para establecer una hipótesis de consumos realistas hay que conocer con cierto detalle el uso habitual que se hace de todas las unidades consumidoras que alimentan la instalación. Por lo tanto, el caudal depende de los siguientes factores:

- Cantidad de unidades consumidoras y consumo de aire de cada una.
- Factor de simultaneidad.
- Pérdidas por desgaste de las unidades consumidoras y por fugas en la red.
- Duración de la conexión de las unidades consumidoras.



Figura 10. Diagrama de procesos para la obtención del caudal de trabajo del compresor.
Fuente (Elaboración propia)

2.4.1. Coeficiente de uso (C_U).

La duración de conexión se expresa en porcentaje o como factor. Este criterio tiene en cuenta que la mayoría de las unidades consumidoras no está en funcionamiento constantemente. En

la tabla 2 se incluyen algunos valores de referencia para diversas unidades consumidoras.
(Albornoz & Bustos, 2007)

Tabla 3. Coeficiente de uso CU. Extraído de (Albornoz & Bustos, 2007)

Unidad consumidora	Coeficiente de uso C_U
Taladradora	30%
Lijadora	40%
Martillo cincelador	30%
Mortero	15%
Moldeadora	20%
Pistola neumática	10%
Máquina para alimentar piezas	80%

2.4.2. Coeficiente de simultaneidad (C_s).

El factor de simultaneidad también es un valor empírico. Las unidades consumidoras que no funcionan de modo continuo suelen conectarse en diversos momentos, con lo que no todas funcionan al mismo tiempo. Ello significa que pueden aplicarse los factores de simultaneidad que se indican a continuación. (Albornoz & Bustos, 2007)

Tabla 4. Coeficiente de simultaneidad CS. Extraído de (Albornoz & Bustos, 2007)

Cantidad de equipos	Coeficiente Simultaneidad C_s
1	1.00
2	0.94
3	0.89
4	0.86
5	0.83
6	0.80
7	0.77
8	0.75
9	0.73
10	0.71
11	0.69
12	0.68
13	0.67
14	0.66
15	0.65
100	0.20

2.4.3. Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA}).

Normalmente se suele prever que el consumo puede aumentar hasta 30% en el futuro al añadir nuevas unidades consumidoras a la instalación. En este caso el coeficiente de mayoración será igual a 1.3. (Albornoz & Bustos, 2007)

2.4.4. Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF}).

Las fugas de aire son inherentes a toda instalación neumática. Se va a tratar de que el montaje de la instalación lo realice personal calificado y con material de calidad por lo que se va a cifrar este coeficiente en 1.05. (5%). (Albornoz & Bustos, 2007)

2.4.5. Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (C_{cc}).

Es el coeficiente entre la duración total del ciclo de funcionamiento (tiempo entre arranques) y el tiempo en el que el compresor produce aire comprimido (compresor funcionando). (Albornoz & Bustos, 2007)

2.4.6. Caudal específico Q_{esp}

El caudal específico que viene dado por la sumatoria de caudales requeridos por cada una de las herramientas.

Aplicando estas variables en la ecuación (1), el caudal que tiene que proporcionar el compresor es:

$$Q_{Comp} = C_S \times C_{MF} \times C_{MA} \times C_{CC} \times C_U \times \sum_{i=1}^n Q_{esp} \quad (1)$$

Ecuación 1. Ecuación para el cálculo del caudal entregado por el compresor. Extraído de (Albornoz & Bustos 2007)

2.5. Presión de trabajo del compresor

La elección de la “presión máxima necesaria de utilización” es uno de los parámetros principales que permitirá la acertada elección del compresor.

La “presión máxima de utilización” la determina el equipo más exigente al que habremos de entregar aire.

La elección recaerá finalmente en aquel compresor que satisfaga la “máxima presión de utilización” a la vez que los requerimientos de otros parámetros.

2.6. Instalación del compresor

En el caso de compresores estacionarios, es muy importante el lugar donde habrán de instalarse. Este debe ser aireado y amplio para permitir maniobras de mantenimiento con comodidad.

En cuanto a la fundación hay dos criterios; uno de ellos es amarrar el compresor a una base flotante de cemento armado cuyo peso supere, por lo menos, en cuatro veces el peso del equipo.

El otro es hacer un montaje flexible con base anti-vibratoria. Esta última es efectiva y económica.

2.7. Selección del acumulador de aire comprimido

Gracias al ábaco de la figura 12 se puede calcular la capacidad del acumulador de aire libre (V_B). Donde es necesario conocer:

- a. El caudal del compresor.
- b. El rango de regulación (ΔP =Diferencia entre la presión máxima y mínima del régimen). Este rango corresponde a la presión máxima que es capaz de suministrar el compresor y la presión mínima que se está dispuesto a regular la marcha del compresor (partidas del compresor).
- c. La frecuencia del compresor (Z = partidas del compresor por hora).

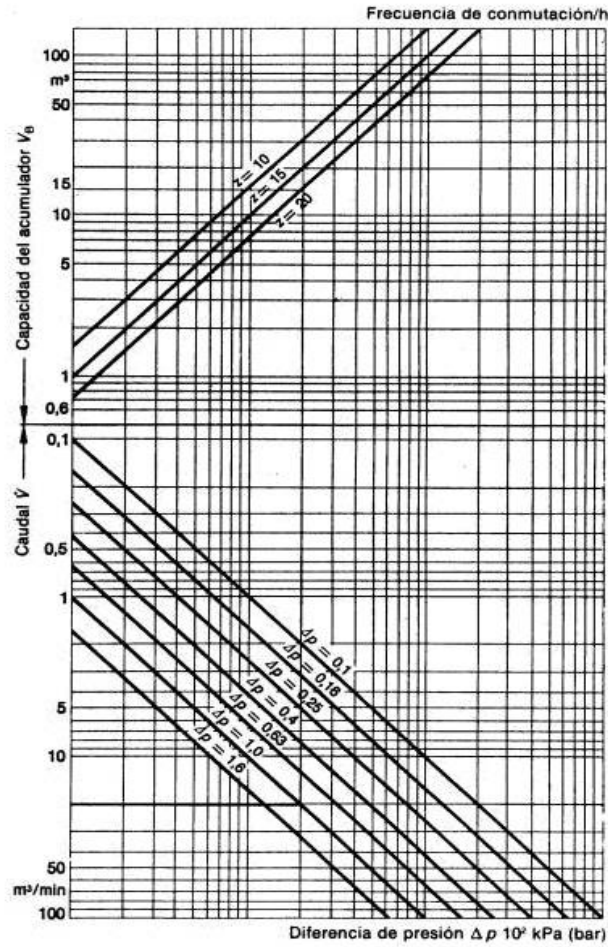


Figura 11. Ábaco para el cálculo de la capacidad del acumulador en m3 de aire libre (VB).

Extraído de (Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica. Sapieman)

Obtenido este valor de V_B , y realizando una corrección teniendo en cuenta la presión atmosférica P_{atm} y la presión entregada por el compresor P_{est} , se puede obtener la capacidad del estanque (V) con la fórmula (2).

$$V = V_B \times \left(\frac{P_{atm}}{P_{est}} \right) m^3 \quad (2)$$

Ecuación 2. Ecuación para determinar la capacidad del acumulador real V. Extraído de

(Albornoz & Bustos 2007)

2.8. Selección de la unidad de mantenimiento

Para seleccionar la unidad de mantenimiento más adecuada, se debe recurrir a la norma ISO 8573-1 la cual nos indica la calidad de aire necesaria según el proceso que se vaya a realizar en la empresa. Además, se puede hacer uso del esquema que se presenta a continuación, donde se dan a conocer, el tipo de calidad de aire (humedad, aceite, polvo, bacterias). ISO 8573 - 1

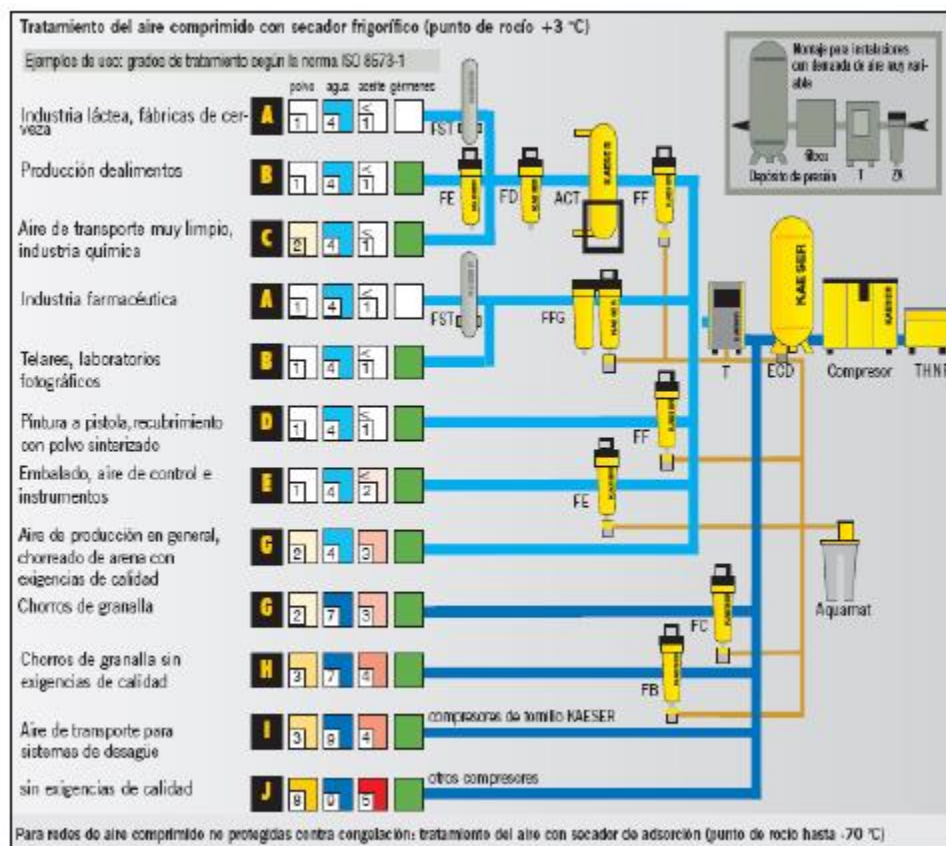


Figura 12. Tratamiento de aire comprimido según norma ISO 8573 – 1. Extraído de (Norma ISO 8573, 2001)

De igual manera se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal total de aire en m³/h es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado grande, se produce en las unidades una caída de presión

demasiado grande. Por eso, es imprescindible respetar los valores indicados por el fabricante.

- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad.
- La temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 °C (valores máximos para recipiente de plástico).

2.9. Selección de tuberías para la red neumática

Para la selección de la tubería se deben tener en cuenta varios factores, entre ellas la presión de trabajo del sistema, la disponibilidad en el mercado, los costos y la versatilidad en los accesorios. La tabla 4 nos permite hacer una comparación entre varios tipos de tuberías existentes en el mercado. De igual manera la tabla 5 nos permite ver las ventajas y desventajas que presentan cada una de las tuberías.

Tabla 5. Comparación de las características de los tubos neumáticos de metal y sintéticos.
Fuente (Elaboración propia)

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscado	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo sintético
Ejecución	Negro o cincado.	Semipesado hasta pesado. Negro o cincado.	Sin costura o soldado.	Suave en tuberías circulares, duro en tubos rectos.	Recubierto o pintado.	Material blando enrollable hasta 100m. Material duro en unidades de hasta 3m.
Material	Por ejemplo, St 35.	Sin costura St 100. Soldado St 33.	Por ejemplo, WST 4301, 4541, 4571.	Cobre.	Aluminio, por ejemplo, resistente al agua salada.	Poliamida (PA, PUR, PE)
Dimensiones	10.2 hasta 558.8mm.	1/8 hasta 6 pulgadas.	6 hasta 273mm.	6 hasta 22mm suave. 6 hasta 54mm duro. 54 hasta 131mm duro.	12 hasta 40mm.	12 hasta 63mm.
Presiones	12.5 hasta 25bar.	10 hasta 80bar.	Hasta 80bar y en parte presión superior.	Según ejecución 16 hasta 140bar.	14bar (a -30°C hasta 30°C)	14bar (a -25°C hasta 30°C)
Extremo tubo	Liso.	Cónico, liso o rosca.	Liso.	Liso.	Liso.	Liso.
Uniones	Soldadura.	Racores, soldadura.	Soldadura (con gas protector).	Roscas, soldadura, racores.	Racores enchufables reutilizables.	Racores enchufables reutilizables.

Tabla 6. Ventajas y desventajas entre los diferentes tubos. Fuente (Elaboración propia)

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscado	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo sintético
Ventajas	Uniones estancas, posibilidad de doblar.	Disponibilidad de numerosos racores y accesorios, posibilidad de doblar.	Uniones estancas, ausencia de corrosión, posibilidad de doblar, para máximas calidades de aire (por ejemplo, en aplicaciones en técnica médica)	Ausencia de corrosión, paredes interiores lisas, posibilidad de doblar.	Resistentes a roturas, ausencia de corrosión, pared interior lisa, ligero.	Ausencia de corrosión, flexible, ligero, resistente a los golpes, exento de mantenimiento, instalación sencilla, conexiones sencillas entre tubos flexibles.
Desventajas	Corrosión (tubos negros). Montaje por operarios experimentados. Gran masa en comparación con tubos de plásticos o aluminio.	Corrosión, en parte también en tubos cincados.	Montaje únicamente por operarios experimentados; oferta limitada de racores y accesorios, piezas costosas.	Montaje por operarios experimentados y especializados. Posibilidad de formación de calcantita.	Menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero.	Poca longitud, menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero. Al aumentar la temperatura disminuye la resistencia a la presión. Posibilidad de cargas electrostáticas. Gran coeficiente de dilatación térmica. (0.2mm/°C)

2.10. Desarrollo de la red neumática.

Después de seleccionar los parámetros de diseño, calcular diámetros, presiones, caudales y escoger los materiales de tuberías y accesorios y teniendo en cuenta la viabilidad del proyecto se recomienda la construcción y montaje de una red de distribución neumática en configuración de anillo, para así garantizar estabilidad en el sistema. Igualmente, el correcto funcionamiento de las herramientas conectadas a este.

De la bibliografía se conoce que las mayores pérdidas de cargas en el sistema son generadas por los accesorios que conforman la red. Para estimar estos valores de manera más precisa

se realizó un análisis (CFD) con la ayuda del software SolidWork en donde se simuló un flujo de aire con las condiciones de trabajo de la red.

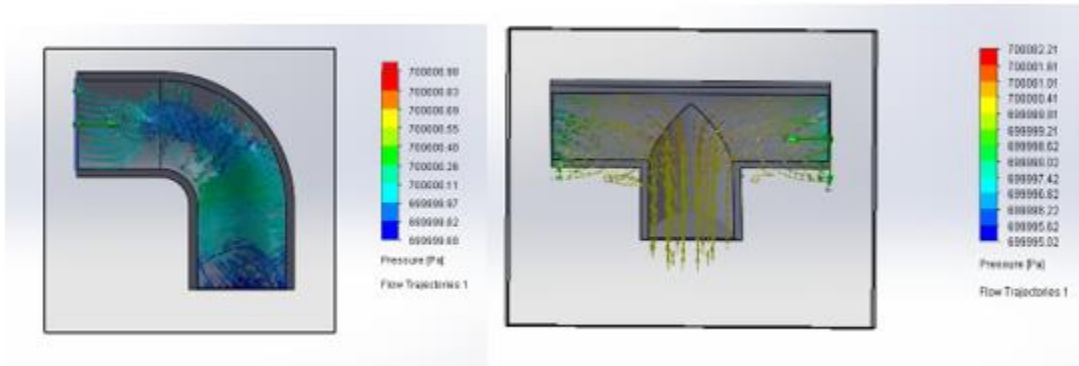
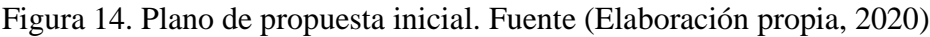


Figura 13. Simulación de flujo en accesorios. Fuente (Elaboración Propia, 2020)

Con base en estos análisis se propone a la gerencia de la empresa la implementación de una red con la menor cantidad de accesorios posibles para disminuir las pérdidas de carga generadas por dichos accesorios.



La gerencia de la empresa luego de hacer un balance de los beneficios y los costos que generaba la construcción de la red propuesta, optan por un diseño más simple que consiste en una red abierta está a pesar de contar con más accesorios satisface las necesidades de la empresa.

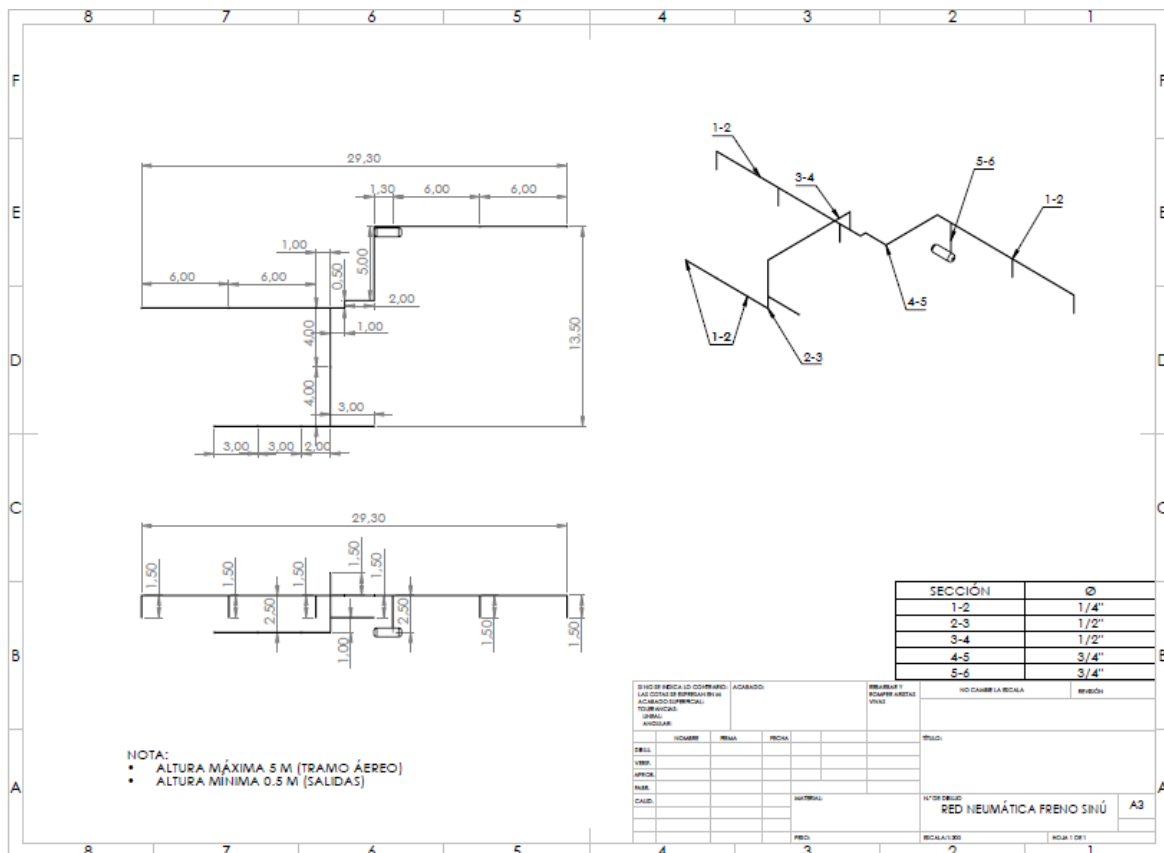


Figura 15. Plano preliminar escogido por la gerencia. Fuente (Elaboración propia)

2.10. Montaje de la red neumática.

Con los elementos que conformaron la red neumática ya seleccionados (tuberías y accesorios) y usando las herramientas más adecuadas, se realizó el armado y montaje de la red de distribución de aire comprimido, usando como guía los planos de ensamble generados previamente y la norma ISO 4414:2010.

2.11. Puesta en marcha de la red neumática.

Cuando la red se encontraba armada y conectada al compresor se dio paso a la puesta en marcha de dicha red. Encendiendo el compresor y paso a paso abriendo cada una de las válvulas que están conectadas a la red, para así verificar de manera visual y auditivamente

posibles fugas, luego de realizar esta actividad se procedió a realizar pruebas de funcionamiento bajo normas como lo fueron:

2.12. Prueba de presión

Se uso un manómetro para la prueba de presión con un rango de 1.5 a 2 veces la presión de trabajo, ubicados tanto en el acumulador como en los puntos de conexión de las herramientas neumáticas, esto según el requerimiento de la norma ASME B31.3 -2010, luego se puso en marcha el compresor y se cargó el sistema con una presión que está en el rango antes establecido, esta prueba nos permitió de igual manera probar el desempeño del sistema incluyendo las válvulas de seguridad norma ASME/ANSI B16.34.



Figura 16. Manómetro. Fuente (Elaboración propia)

2.13. Prueba de hermeticidad

Usando como guía las normas técnicas para diferentes tipos de fluidos y materiales que trabajan bajo presión (NTE 2060:2010). Se sometió el sistema a una presión de 7 bares

durante 30 minutos, luego de este periodo se realizó la lectura de la presión y esta no debía ser menor al 70% de la presión inicial.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Selección de tuberías para la red neumática

Para realizar la selección de la tubería para el sistema se tuvieron en cuentas varios factores entre ellos los expuestos en las (tablas 4 y 5). Además, se tuvo en cuenta los requerimientos establecidos, de presión y caudal necesario, por ende, se determinó usar tubos de acero galvanizado de ½ pulgada de diámetro (Anexo A1) ya que cumplen cada uno de los parámetros necesarios.

Estos tubos se cotizaron en varios distribuidores del comercio de la ciudad de Montería y se encontró que la empresa Tubos y Metales RyR S.A.S contaba con una excelente relación precio calidad, por ello se decidió comprar 12 tubos de ½ pulgada que fueron transportados hasta las instalaciones de la empresa Freno Sinú S.A.S

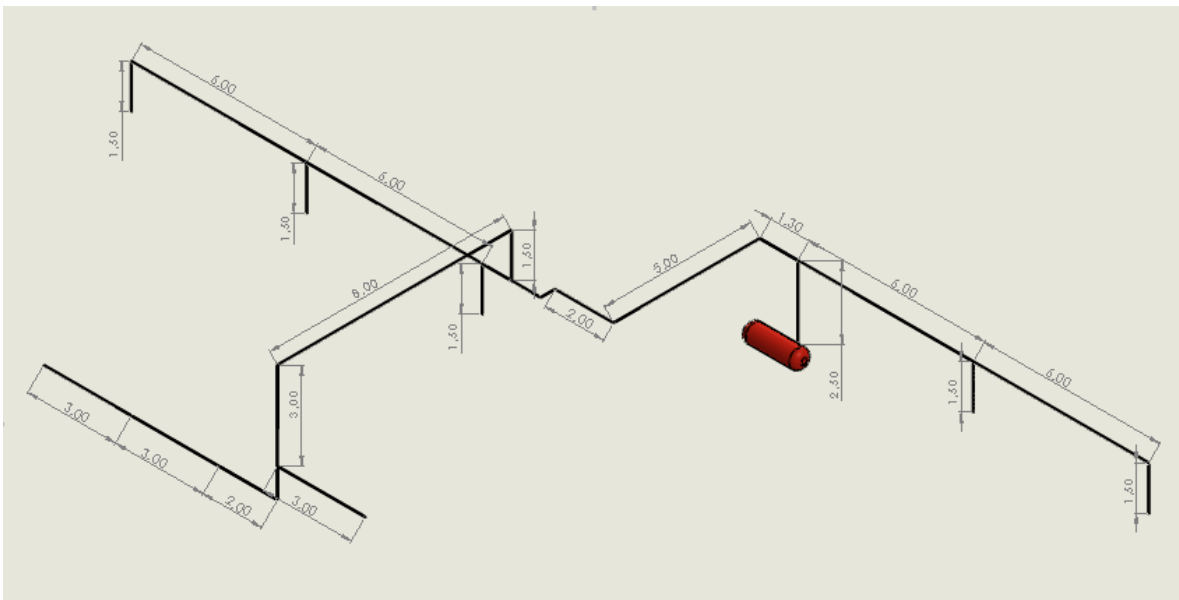


Figura 17. Vista isométrica de la red de aire comprimido. Fuente (Elaboración propia, 2019)

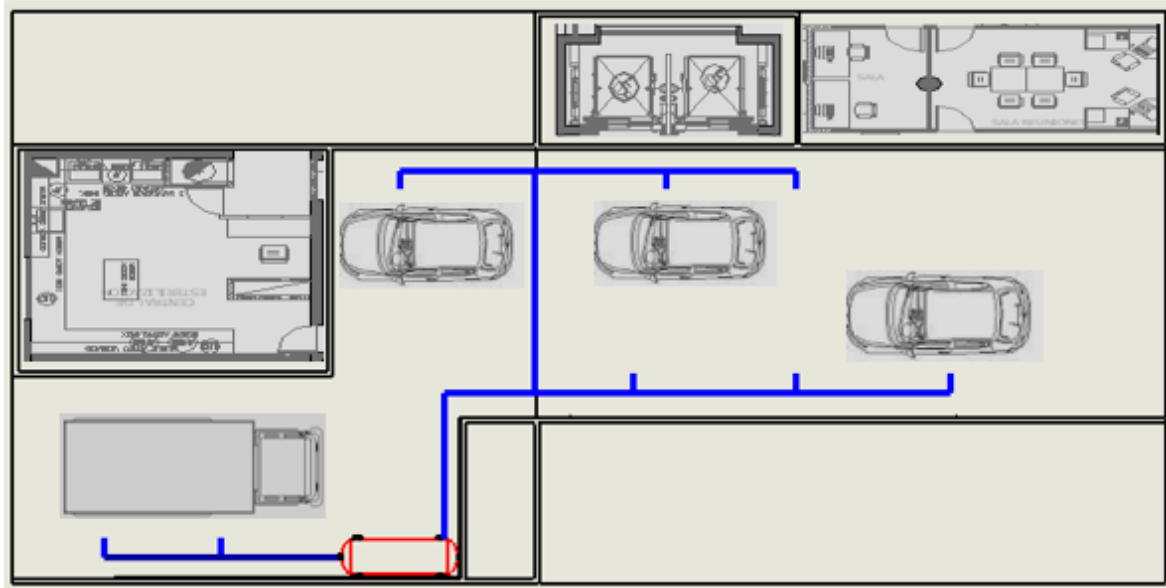


Figura 18. Vista en planta de la red de aire comprimido. Fuente (Elaboración propia, 2019)

3.2. Selección del compresor y acumulador

Para la selección del compresor y acumulador se deberá tener el dato de la presión que requieren las herramientas de trabajo, como también del caudal que el sistema requiere para alimentar de una forma eficiente a todos los equipos pertinentes. La presión a la que trabajan todas las herramientas corresponde a un valor de 6.6 bares (Anexo A 2), al tener este valor junto con el dato de caudal de 101.57 L/min (Anexo A 3). Con la ayuda de esos datos se escogió el compresor más adecuado dentro del mercado local. Cabe señalar que en la práctica no se va a encontrar un compresor exactamente de 101.57 L/min y 6.6 bares, se lo debe aproximar al más cercano que se pueda ajustar a los requerimientos mencionados.

De igual manera para la selección del taque de almacenamiento se debe tener en cuenta la capacidad de almacenamiento necesaria requerida por el sistema. El tanque deberá tener una capacidad de 0.12 m³ que se traduce a un tanque de 120 L (Anexo A4).

La empresa Freno Sinu S.A.S cuenta con un compresor que suple las necesidades requeridas, por ende, se decide instalar este compresor al sistema.

El compresor cuenta con un motor de la marca LEESON ELECTRIC 7.5 Hp que trabaja a 1800 rpm y un tanque acumulador de la marca ALANSA con una capacidad de 500 Litros.



Nameplate Specifications

Output HP	7.5 Hp	Output KW	5.6 KW
Frequency	60 Hz	Voltage	230 V
Current	34.5 A	Speed	1733 rpm
Service Factor	1.15	Phase	1
Duty	Continuous	Insulation Class	F
Frame	215TCZ	Enclosure	Open Drip Proof
Thermal Protection	No	Ambient Temperature	40 °C
UL	Recognized	CSA	Y
CE	Y		

Figura 19. Motor eléctrico LEESON ELECTRIC 7.5 Hp. Extraído de (Catalogo LEESON ELECTRIC, 2019)



Figura 20. Ficha técnica del acumulador de aire. Fuente (Registro fotográfico, 2019)



Figura 21. Compresor. Fuente (Registro fotográfico, 2019)

3.3. Selección de la unidad de mantenimiento

Para la selección de las unidades de mantenimiento se tuvo en cuenta la norma ISO 8573-1 (figura 13) la cual nos indica los requerimientos en la calidad del aire a usar en distintos procesos. Con base en ello se determinó que nuestro proceso no requiere una alta calidad de aire.

Además de esto se tuvo en cuenta la presión a la cual va a estar sometido el sistema ya que las unidades de mantenimiento tienen una capacidad máxima de trabajo.

La empresa Freno Sinú S.A.S contaba con unas unidades de mantenimiento de la marca “XCPC” de dos piezas modelo “XAL2000-02” las cuales cuentan con un filtro, un regulador y un lubricador que cumplen con las necesidades requeridas para la operación exitosa del proceso.



Fluido de Operación:	Aire
Precisión de filtrado:	25u
Función de drenado:	Manual / Automática
Flujo nominal (l/min):	500
Máxima presión de trabajo:	145 PSI (1 MPa) (10 Bar)
Presión máxima de resistencia:	209 PSI (1.5 MPa) (15 Bar)
Rango ajustable de presión:	21-120 PSI (0.15 - 0.85 MPa) (1.5 - 8.5 Bar)
Aceite recomendado:	ISO VG32
Temperatura de operación:	5 - 60°C
Unidades de medición en manómetro:	MPa & Psi
Tipo de válvula:	Con sobreflujo
Material del vaso:	Polycarbonato

Figura 22. Unidad de mantenimiento. Extraído de (Catalogo XCPC, 2019)



Figura 23. Unidad de mantenimiento. Fuente (Registro fotográfico, 2019)

3.4. Evaluación de eficiencia de la red

Se compararon los tiempos de trabajo con herramientas mecánicas manuales versus herramientas neumáticas, para determinar qué tan eficiente es el sistema. Y de esta manera estimar el ahorro y la ganancia que le genera la red neumática a la empresa.

Tabla 7. Comparativa de tiempos empleados usando herramienta neumática (pistola de impacto) vs. herramienta mecánica (cruceta). Fuente (Elaboración propia, 2019)

Vehículos	Tiempos promedio empleados realizando desmontaje (segundos) con:		Tiempos promedio empleados realizando montaje (segundos) con:		
	Herramienta neumática	Herramienta mecánica	Herramienta neumática	Herramienta mecánica	
Hyundai Accent (Con pernos de seguridad)	51	89	67	143	Ruedas traseras
	37	89	65	117	Ruedas delanteras
Volkswagen Amarok	47	87	65	135	Ruedas traseras
	36	88	63	115	Ruedas delanteras
Chevrolet Aveo Family	49	87	65	137	Ruedas traseras
	35	86	62	115	Ruedas delanteras
Nissan Np 300 Frontier	51	87	67	139	Ruedas traseras
	39	89	66	117	Ruedas delanteras
Toyota Hilux	49	89	66	141	Ruedas traseras
	37	91	69	115	Ruedas delanteras

Usando la relación:

(%) *Eficiencia de la herramienta neumática respecto a la herramienta mecánica*

$$= \frac{\text{Tiempo promedio empleado usando herramienta neumática}}{\text{Tiempo promedio empleado herramienta mecánica}} (100\%)$$

$$= \text{Ahorro de tiempo (\%)}$$

Tabla 8. Eficiencia de la herramienta neumática (pistola de impacto) respecto a la herramienta mecánica (cruceta). Fuente (Elaboración propia, 2019)

Vehículos	Ahorro de tiempo en el desmontaje usando herramienta neumática (%)	Ahorro de tiempo en el montaje usando herramienta neumática (%)	
Hyundai Accent (Con pernos de seguridad)	57,30	46,85	Ruedas traseras
	41,57	55,55	Ruedas delanteras
Volkswagen Amarok	54,02	48,15	Ruedas traseras
	40,91	54,78	Ruedas delanteras
Chevrolet Aveo Family	56,32	47,45	Ruedas traseras
	40,70	53,91	Ruedas delanteras
Nissan Np 300 Frontier	58,62	48,20	Ruedas traseras
	43,82	56,41	Ruedas delanteras
Toyota Hilux	55,06	46,81	Ruedas traseras
	40,66	60	Ruedas delanteras

De la tabla 6 calculamos y resumimos la siguiente información:

Tabla 9. Tabla resumen

Fuente (Elaboración propia)

Día de trabajo	8 h = 480 min
Duración promedio de un servicio de mantenimiento usando herramientas mecánicas	30 min
Numero promedio de servicios de mantenimiento por día usando herramientas mecánicas	16/día
Tiempo promedio usando herramientas neumáticas en un servicio de mantenimiento	108,6 s \approx 2 min
Numero promedio de servicios de mantenimiento por día usando herramientas neumáticas	17/día
Ingreso promedio por servicio de mantenimiento = ingreso extra generado al día	\$ 120.000
Recursos invertidos en el proyecto	\$ 13'600.000
Tiempo para recuperar la inversión	4 meses

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Este proyecto se planeó y ejecutó con el fin de solucionar un problema real, planteado por el gerente y copropietario de la empresa Freno Sinú S.A.S. de la ciudad de Montería. Luego de finalizar el diseño y construcción de una red de distribución de aire comprimido para el uso de herramientas neumáticas y realizar las respectivas pruebas de funcionamiento con este sistema en condiciones laborales reales en dicha empresa, se puede concluir que:

- ✓ Los parámetros más trascendentales para el diseño de la red neumática fueron la presión de trabajo de las nuevas herramientas neumáticas que se usaran en las labores de la empresa y el número de estas que se manipularan de forma simultánea.
- ✓ Ejecutar el proyecto teniendo como directriz principal la viabilidad económica de este, no significó un obstáculo para la selección de los elementos que conforman la red neumática y para la funcionalidad de la misma. Es decir, se puede construir una red neumática funcional y relativamente económica.
- ✓ La principal dificultad al realizar el montaje del sistema de tuberías fue mantener la hermeticidad de la red y establecer la ubicación de los acoples universales que permitirían el empalme de dos secciones del sistema.
- ✓ La herramienta neumática usada para la prueba de funcionamiento del sistema (pistola de impacto) es entre 40 % y 60 % más eficiente en función del tiempo, que la herramienta mecánica tradicional usada en el taller de la empresa (cruceca). Lo cual significa un importante ahorro de tiempo en la realización de los servicios de mantenimiento de los vehículos que ingresan a la empresa.

4.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Para usar de forma óptima la red neumática y así mismo la empresa pueda prestar un buen servicio de taller, debe realizarse la carga del tanque de almacenamiento de aire comprimido con un periodo de anterioridad de entre 10 y 15 minutos anteriores al inicio de la jornada de trabajo en la empresa. Esto con el fin de que, al momento de ingresar un vehículo a mantenimiento a primera hora al taller, ya se disponga de la presión de trabajo para el uso de las herramientas neumáticas.
- ✓ Se debe purgar periódicamente el tanque de almacenamiento de aire comprimido y las unidades de mantenimiento en las tomas de aire. Para así hacer salir las impurezas y humedad que se acumulen en el sistema.
- ✓ La lubricación de las herramientas neumáticas debe ser de vital importancia para evitar fallas de las mismas. Esta actividad de mantenimiento preventivo se puede realizar con ayuda de los depósitos de aceite de las unidades de mantenimiento de aire o aplicando directamente lubricante en la herramienta en la entrada de aire.
- ✓ Para en montaje y desmontaje de las tuberías en labores de aplicación o mantenimiento de la red neumática, es primordial aprovechar la ubicación de los acoples universales y comenzar estos procesos por las secciones aledañas a estos elementos.
- ✓ Las secciones de la red que no se estén usando, deberán estar aisladas mediante las válvulas instaladas y las salidas de aire que no se estén usando, deberán estar bloqueadas con un tapón para evitar el deterioro de estas.
- ✓ A pesar que el personal técnico de la empresa en su mayoría está capacitado para operar las herramientas neumáticas. Se les debe capacitar en el mantenimiento de las mismas y el beneficio que estas traen a la empresa y a ellos mismos.

- ✓ La identificación es una parte importante del mantenimiento. Según la norma UNE 1063 las tuberías que conducen aire comprimido deben ser pintadas de azul moderado.
- ✓ Barrido del sistema: Se recomienda cargar el acumulador del compresor hasta alcanzar una presión igual o superior a la presión de trabajo, luego se deben abrir las válvulas de seguridad y se deja escapar el aire a presión por todas las salidas del sistema, esto antes de montar las unidades de mantenimiento para evitar sobrecargarlas, este procedimiento se debe realizar con el fin de limpiar internamente las tuberías de la red neumática, para retirar cualquier impureza que haya quedado después del proceso de montaje.

5. BIBLIOGRAFIA

ARISTIZABAL RESTREPO, Sergio (1988). Curso de extensión Neumática Industrial. Principios y aplicaciones. Memorias. Medellín: Universidad EAFIT

ALBORNOZ VIDAL, Cristián & BUSTOS VERDUGO, Rodrigo (2007) “Diseño de una red de aire comprimido para el nuevo edificio del instituto profesional Virginio Gómez”. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad del BIO-BIO. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

CHADID SIERRA, Juan Carlos (1988). “Diseño de Redes de Aire Comprimido”. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

Conceptos básicos de hidráulica y neumática (s.f) Recuperado de <http://www.sapiensman.com/neumatica/>

Educativa. (2006). *Producción del aire comprimido*. Obtenido de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/21_el_compresor.html

Hidráulica y Neumática S.A – HNSA. (2018). *UNIDADES DE MANTENIMIENTO FRL*.

Ingemecánica. (2012). *Diseño de Sistemas de*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>

Jiménez, A. (2012). *Producción del aire comprimido*. Obtenido de WordPress: <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/produccion-del-aire-comprimido/>

Mundo Compresor. (2018). *La filtración en las líneas de aire comprimido*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>

Mundo Compresor. (2018). *Diferentes tipos de compresores*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>

Norma ISO 8573 (2001)

PINCAY GALARZA, Danny (2019) “Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG”. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

SOTO VÁSQUEZ, Ana (2005) “Propuesta de rediseño de la red de aire comprimido de Industrias CERESITA S.A”. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

UBIDIA VÁSQUEZ, Pamela (2013) “Diseño y construcción del sistema de aire comprimido de la Planta Industrial de Chova Del Ecuador S.A”. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica del Ejercito. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

VAN DIJEN (1982) F. S. G. “Mecanización Neumática”. Zaragoza. Distresa S.A. ISBN: 84-7087-197-8

ANEXOS

ANEXO A 1. Diámetro de las tuberías.

El cálculo de la red de aire comprimido, tiene por finalidad determinar el diámetro interior de las tuberías donde circulará el aire a presión para suministrar a cada unidad consumidora. Para ello se realizará el cálculo mediante el método analítico, es decir, por medio de la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt[5]{76.35 \times \left[\frac{L_t \times Q_n^{1.875}}{p_i^2 - p_f^2} \right]}$$

Donde:

Pi = Presión inicial en bar absolutos.

Pf = Presión final en bar absolutos.

Lt = Largo total (incluyendo longitudes equivalentes) en metros.

Qn= Caudal normal en m³/h.

d = Diámetro interior del tubo en milímetros.

A fin de calcular el diámetro interior de las tuberías, se procede a separar el circuito en tramos definidos (ver el isométrico de la figura 14). En cada tramo se conoce el caudal demandado por cada unidad consumidora, la presión de trabajo, la longitud y la pérdida de carga dada (de diseño) que es de 0.15bar. Obtenido así los resultados siguientes:

Tramo	Caudal Q m ³ /h	Longitud Tubería m	Longitud equivalente m	Longitud total m	Presión final Pf bar	Presión inicial Pi bar	Diámetro mm	Diámetro in
1-2	6.79	6	1.55	7.55	6.2	6.35	6.3	¼
2-3	20.37	10	2.4	12.4	6.35	6.50	10.24	13/32
3-4	27.16	13	2.45	15.45	6.50	6.65	11.96	15/32
4-5	47.53	11	3.85	14.85	6.65	6.80	15.09	19/32
5-6	61.11	3	0.7	3.7	6.80	6.95	12.5	½

Normalización de los diámetros

Los diámetros calculados no siempre son posible encontrarlos en el comercio, por lo que deben ajustarse a diámetros normalizados. Por lo tanto, los diámetros de cada tramo de tubería finalmente son los siguientes:

Tramo	Diámetro teórico in	Diámetro normalizado in
1-2	¼	¼
2-3	13/32	½
3-4	15/32	½
4-5	19/32	¾
5-6	9/32	¾

ANEXO A 2. Cálculo de las pérdidas de carga.

Anteriormente se había señalado que se utilizaría una pérdida de carga de diseño de 0.15bar.

Sin embargo, este valor sólo es aplicable a cada tramo de tuberías.

Ahora se calculará la pérdida de carga de toda la red. De modo que el compresor pueda satisfacer la demanda de presión a la cual será utilizado.

Para calcular las pérdidas de carga se utilizará la siguiente ecuación:

$$p_i^2 - p_f^2 = \frac{76.35 \times L_t \times Q_n^{1.875}}{D^5}$$

Donde:

P_i: Presión inicial en bar absolutos.

P_f: Presión final en bar absolutos.

L_t: Largo total (incluyendo las longitudes equivalentes) en m.

Q_n: Caudal normal, en m³/h.

D: Diámetro interior del tubo en mm.

Resolviendo la ecuación obtenemos los siguientes resultados.

Tramo	Caudal Q m ³ /h	Diámetro mm	Diámetro in	Longitud total m	Presión final Pf bar	Presión inicial Pi bar
1-2	6.79	6.3	1/4	7.55	6.2	6.36
2-3	20.37	12.7	1/2	12.4	6.36	6.42
3-4	27.16	12.7	1/2	15.45	6.42	6.55
4-5	47.53	19.05	3/4	14.85	6.55	6.59
5-6	61.11	19.05	3/4	3.7	6.59	6.60

ANEXO A 3. Cálculo Del Compresor

Para el cálculo del compresor, tanto la presión máxima como el caudal total a suministrar por el compresor, serán factores fundamentales a considerar.

Para esto, se recurre a la siguiente fórmula:

$$Q_{Comp} = C_S \times C_{MF} \times C_{MA} \times C_{CC} \times C_U \times \sum_{i=1}^n Q_{esp}$$

Donde:

C_S: Coeficiente de simultaneidad. Dependerá del número de equipos conectados a la red. Conociendo que nuestro sistema cuenta con 9 salidas y haciendo uso de la tabla 4, se determina un valor de 0.73.

C_{MF}: Coeficiente de mayoración por fugas. Teniendo en cuenta la literatura y recomendaciones antes expuestas tomaremos un valor de 5% (1.05).

C_{MA}: Coeficiente de mayoración por futuras ampliaciones. Teniendo en cuenta la literatura y recomendaciones antes expuestas tomaremos un valor de 30% (1.30).

C_{CC}: Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor. En este caso se hará uso de un compresor de pistones el cual cuenta con un coeficiente de funcionamiento igual a 1.0

C_U: Coeficiente de uso. Conociendo que la aplicación principal de nuestra red neumática son las pistolas neumáticas, y haciendo uso de la tabla 3, determinamos que nuestro coeficiente de uso es de 10% (0.10).

Q_{esp}: Caudal de cada unidad consumidora. 9 pistolas que requieren 113.26 L/min cada una.

Lo que nos da un total de (113.26 X 9) L/min = 1019.34 L/min

Con estos datos se calcula el caudal que debe suministrar el compresor.

Coef. de simultaneidad C_s	Coef. de mayoración por fugas C_{MF}	Coef. de mayoración por futuras ampliaciones C_{MA}	Coef. de ciclo de funcionamiento del compresor C_{CC}	Coef. de uso C_U	Consumo habitual de la instalación $Q_{consumo}$	Caudal proporcionado por el compresor $Q_{compresor}$
0.73	1.05	1.30	1.0	0.1	1019.34	101.57 L/min
						1.69 L/s
						0,1014 m ³ /min
						3.6 cmf

ANEXO A 4. Cálculo del acumulador.

Para calcular la capacidad del tanque de almacenamiento, se recurre al gráfico de la Figura 12. Previo a esto se necesita conocer el caudal a suministrar por el compresor, en m³/min, el rango de regulación (Δp =diferencia entre la presión máxima y mínima del régimen) y la frecuencia del compresor (Z =partidas del compresor por hora).

Entonces:

- Caudal a suministrar por el compresor: 0.10 m³/min.
- Rango de regulación: 0.15 bar.
- Frecuencia del compresor: 15 h⁻¹.

Con estos datos, y gracias al gráfico de la Fig 12, se obtiene la capacidad del acumulador de aire libre: 1 m³.

Con este dato se ingresa a la fórmula:

$$V = V_B \times \left(\frac{P_{atm}}{P_{est}} \right) m^3$$

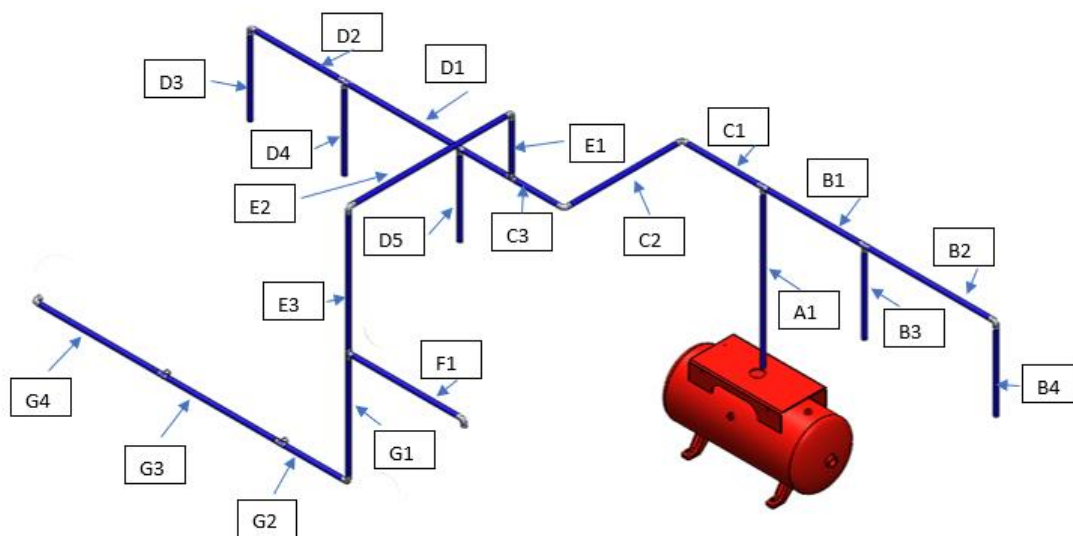
Con los siguientes datos:

- $V_B = 1 m^3$
- $P_{atm} = 101325 Pa$
- $P_{est} = 800000 Pa$

$$V = 1 m^3 \times \left(\frac{101325}{800000} \right) = 0.12 m^3 = 120 Lt$$

VARIABLES	VALOR CALCULADO
PRESIÓN DE TRABAJO	6.6 BAR – 95 PSI
CAUDAL DE TRABAJO	102 L/min – 3.6 CFM
TAMAÑO DEL ACUMULADOR	120 L

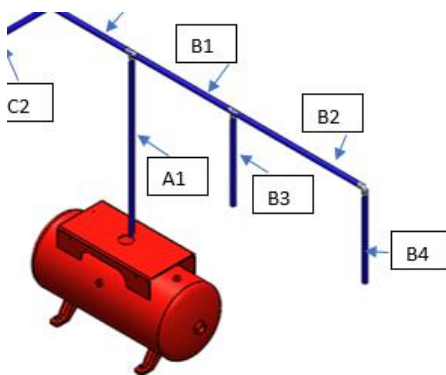
Anexo A 5. Guía de montaje y desmontaje de red neumática



Al realizar el montaje del sistema es necesario tener todos los elementos de sujeción necesarios entre ellos (uniones, codos, tees, uniones universales, válvulas, selladores para tubos metálicos) además de las herramientas y equipamiento necesario para realizar la actividad con la mayor seguridad posible.

El paso a paso para el montaje esta dado por la siguiente secuencia.

Sección 1



Sección 2




Sección 3

Anexo A 6. Plan de mantenimiento mensual.

[illegible]

Anexo A 7. Presupuesto

	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL USO DE HERRAMIENTAS NEUMÁTICAS EN LA EMPRESA FRENO SINÚ S.A.S. EN LA CIUDAD DE MONTERÍA				
	PRESUPUESTO				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VLR. UNITARIO	COSTO TOTAL
1	MATERIALES GALVANIZADOS				
1.1	TUBERIA GALVANIZADA Ø ½" X 6 M	UNIDAD	13	\$ 40.300,00	\$ 523.908,00
1.2	CODOS GALVANIVADOS Ø ½" DE 90°	UNIDAD	15	\$ 1.8000,00	\$ 27.000,00
1.3	CODOS GALVANIVADOS Ø ½" DE 45°	UNIDAD	2	\$ 2.200,00	\$ 4.400,00
1.4	TEES GALVANIZADA Ø ½"	UNIDAD	8	\$ 2.400,00	\$ 19.200,00
1.5	NILPLE GALVANIZADO Ø ½" X 50 MM	UNIDAD	10	\$ 1.300,00	\$ 13.000,00
1.6	UNION SIMPLE GALVNIZADA Ø ½"	UNIDAD	3	\$ 1.500,00	\$ 4.500,00
1.7	UNION UNIVERSAL GALVANIZADA Ø ½"	UNIDAD	5	\$ 8.500,00	\$ 42.500,00

2	ELEMENTOS DE SUJECIÓN				
2.1	GRAPAS METALICAS DOBLE TORNILLO DE Ø ½"	UNIDAD	30	\$ 200,00	\$ 6.000,00
2.2	TORNILLO TIPO DRYWALL CALIBRE 10	UNIDAD	60	\$ 42,00	\$ 2.500,00
2.3	CHAZOS PARA PARED 3 MM	UNIDAD	60	\$ 25,00	\$ 1.500,00
2.4	GUAYAS METALICAS 1/8" RECUBIERTAS X 6M	UNIDAD	1	\$ 5.100,00	\$ 5.100,00
2.5	PRENSACABLES DE 1/8"	UNIDAD	12	\$ 261,00	\$ 3.150,00
2.6	SILICONA SELLANTE ADHESIVO PARA METALES X 280ML	UNIDAD	2	\$ 22.500,00	\$ 45.000,00
3	ELEMENTOS DE CONTROL Y TRANSPORTE DE PRESION				
3.2	COMPRESOR BOMBA AIRE 7.5HP INDUSTRIAL 500 LITRO FIAC ITALIA	UNIDAD	1	\$ 6'900.000,00	\$ 6'900.000,00
3.3	VALVULAS DE BOLA MARIPOSA GALVANIZADAS Ø ½"	UNIDAD	5	\$ 9.700,00	\$ 48.500,00
3.4	PISTOLA DE IMPACTO	UNIDAD	3	\$ 219.900,00	\$ 659.700,00
3.5	MANGUERAS DE ALTA PRESION Ø ¼" X 8 MT	UNIDAD	3	\$ 24.000,00	\$ 72.000,00
4	INFORMES Y GUIAS				

4.1	IMPRESIONES	UNIDAD	60	\$	500,00	\$	30.000,00
4.2	ARGOLLADOS O SIMILAR	UNIDAD	2	\$	25.000,00	\$	50.000,00
4.3	COPIAS DIGITALES	UNIDAD	2	\$	7.000,00	\$	14.000,00
4.4	PLOTEAR PLANOS (PLIEGO)	UNIDAD	3	\$	8.000,00	\$	24.000,00
						MANO DE OBRA	\$ 3'000.000,00
						SUBTOTAL	\$ 11'504.950,00
						TRANSPORTE 10%	\$ 1'150.495,00
						IMPREVISTO 8%	\$ 920.396,00
						TOTAL	\$ 13'575.841,00